



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA BEZRÁMOVÝCH SLÉVÁRENSKÝCH FOREM

MANUFACTURE OF FLASKLESS FOUNDRY MOULDS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Irena KŘÍŽOVÁ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Petr CUPÁK, Ph.D

BRNO 2014

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je provedení literární rešerše výrobních metod bezrámových slévárenských forem. A celkové zhodnocení výhod a nevýhod oproti formování za pomoci rámců.

Klíčová slova

bezrámové formy, hot-box, croning, disamatic, směsi, vodní sklo, bentonit

ABSTRACT

Aim of this work is to undertake a literature review of production methods frameless casting molds. Overall evaluation of the advantages and disadvantages compared to shaping using frames.

Key words

unframed form, hot-box, croning, disamatic, mixture, water-glass, bentonite

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KŘÍŽOVÁ, Irena. *Výroba bezrámových slévárenských forem*. Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 36, s. Vedoucí práce: Ing. Petr Cupák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Výroba bezrámových slévárenských forem** vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Irena Křížová

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu Ing. Petru Cupákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování a za veškerý čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky.

OBSAH

ÚVOD

1	VÝROBA FOREM	8
1.1	Ruční formování	8
1.2	Strojní formování	9
2	FORMOVACÍ SMĚSI.....	14
2.1	Bentonit	15
2.2	Vodní sklo	16
2.3	Pojivové soustavy s užitím pryskyřic	18
2.3.1	Fenolitické pryskyřice	18
2.3.2	Furanové pryskyřice	19
2.3.3	Močovino- formaldehydové pryskyřice	20
3	METODY BEZRÁMOVÉHO FORMOVÁNÍ.....	21
3.1	Výroba skořepinových forem - metoda Croningova	21
3.2	Metoda Hot – box	22
3.3	Přehled výhod a nevýhod metod Croning, Hot - box	24
3.4	Výroba forem na vytavitelný model – „Lost wax“	24
4	AUTOMATICKÉ BEZRÁMOVÉ FORMOVACÍ LINKY	27
4.2	Bezrámové linky se svislou dělicí rovinou	28
4.3	Bezrámové linky s vodorovnou dělicí rovinou	30
4.3.1	Bezrámové formovací stroje vstřelovací a lisovací.....	31
4.3.1	Bezrámové formovací stroje podtlakové a lisovací	32
4.3.2	Bezrámové formovací stroje lisovací	33
5	ZÁVĚR.....	34

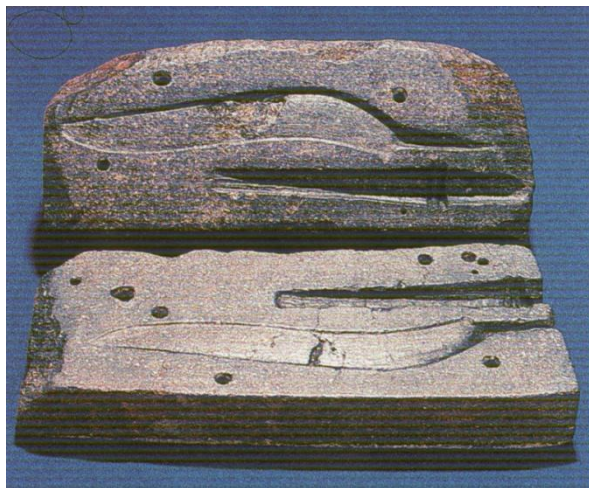
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

ÚVOD

Kořeny slévárenství sahají až do roku 2 000 př. n. l. Patří mezi nejstarší řemesla vůbec, co se týče výroby konstrukčních dílů, a to odlitků. Významným přínosem pro slévárenství byli Keltové v oblasti kovolitectví, které se v průběhu vývoje zdokonaľovalo natolik, že v dnešní době se jedná o odlévání do dělených, trvalých (kamenných) a ztracených forem. Velmi důležitým zlomem pro slévárenství byla průmyslová revoluce (18. -19 století), kde došlo k technickému průlomů a rozšíření výroby tvarově složitých součástí.

Vývojově se směřuje k odlitkům se stále vyšší přesností, kvalitou povrchu a tvarovou složitostí. V současnosti existují poměrně rozsáhlé možnosti technologií výroby hotových odlitků či polotovarů, které se můžou označit jako konvenční nebo naopak špičkové (progresivní, nekonvenční).

Vzhledem k velkým nárokům, ať už se jedná o zvýšení produktivity a zkvalitnění odlitků nebo o celkové zlepšení slévárenské výroby, se začaly využívat metody, které ve svém principu nevyžadují žádné formovací rámy. Patří sem hlavně metody Croning, Hot-box i automatické formovací bezrámové linky DISA.



Obr. 1 – Historické formy [1]

1 VÝROBA FOREM

Výroba forem je nedílnou součástí slévárenské výroby. Hlavním účelem je zaformování modelu do netrvalých pískových forem, pomocí formovacích směsí. Tento proces je rozdělen na ruční a strojní formování.

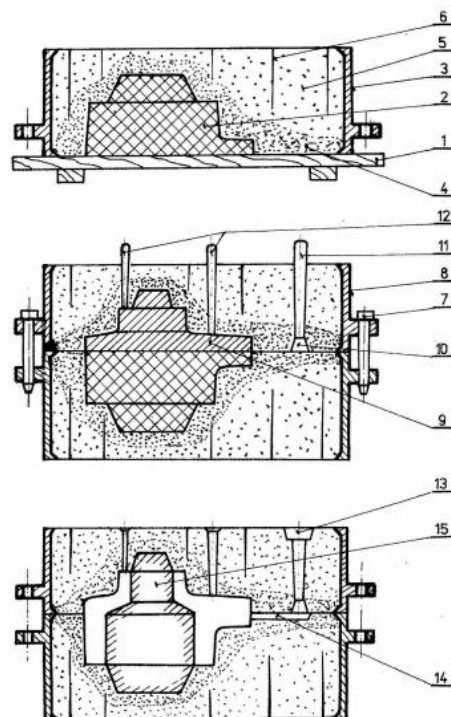
1.1 Ruční formování

Tento způsob formování je využit pro zhotovení uzavřených (formování v rámech) i otevřených (do země slévárny) forem. Jedná se o netrvalé formy, kde jsou rozměrově velké a složité odlitky nebo jde o kusovou výrobu. Nevýhodou oproti strojnímu formování je zdoluhavá a namáhavá ruční práce při pěchování směsi. V konečném důsledku při ručním formování je nutná kvalifikovaná pracovní síla, což způsobuje vysokou pracnost a snížení samotné produktivity.

Postup ručního formování odlitku do dvourámů pomocí děleného modelu je zobrazen na obr. 2

Model je rozdělen nejčastěji na dvě části, kde jedna část (2) je položena na formovací desku (1) s formovacím rámem (3). Pomocí dělicího prášku je povrch modelu zaprášen a následně je do rámu vsypán dostatek modelové směsi (4), aby byl model s formovací deskou kompletně přikryt.

Ke zpevnění vrstev (formovací + výplňová směs (5)) je třeba směs pečlivě upěchovat. Je nutné zaplnit celý prostor rámu, zbytek výplňové směsi se odstraní ocelovým pravítkem a za pomoci bodců jsou vytvořeny průduchy (6). Tímto postupem je zaformována první část formy – spodek.



Obr. 2- Postup ručního formování [2]

Spodní deska se obrátí a následně sejme z rámu. Na spodní rám je umístěn vrchní rám (8) za pomoci zaváděcích čepů (7). Do horní části je založena druhá polovina modelu (9), model odstruskovače (10), vtokový kanál (11) a výfuk (12).

Do rámu je nasypána modelová směs a pokračuje se ve stejném principu výroby jako u spodní části formy.

Po odstranění přebytečné směsi a zarovnání povrchu, se vyřízne vtoková jamka (13), která se nachází kolem modelu vtokového kanálu. Na povrchu formy jsou napíchnuty bodcem průduchy. V další operaci je nutno uvolnit a vytáhnout model vtokového kanálu a výfuků z formy a obrátit vršek tak, aby se z něho dala vyjmout část modelu (9) a model odstruskovače (10). Ve spodní části formy jsou vyříznuty vtokové zářezy (14), a vyjmuta druhá část modelu (2). V konečné fázi se vyhladí líce formy a obě poloviny se zapráší grafitem. Do spodku formy je založeno jádro (15) a za pomoci čepů (7) se formy složí a zajistí proti vztlaku. Po dodržení postupu je forma připravena k odlití. [2]

1.2 Strojní formování

Strojní formování slouží k nahrazení ruční práce za strojní přechování formovacích směsí a jednodušší vyjímání modelů z forem.

Výhody strojního formování vůči ručnímu jsou:

- kvalita a přesnost odlitků
- nižší počet zmetků
- vyšší produktivita práce

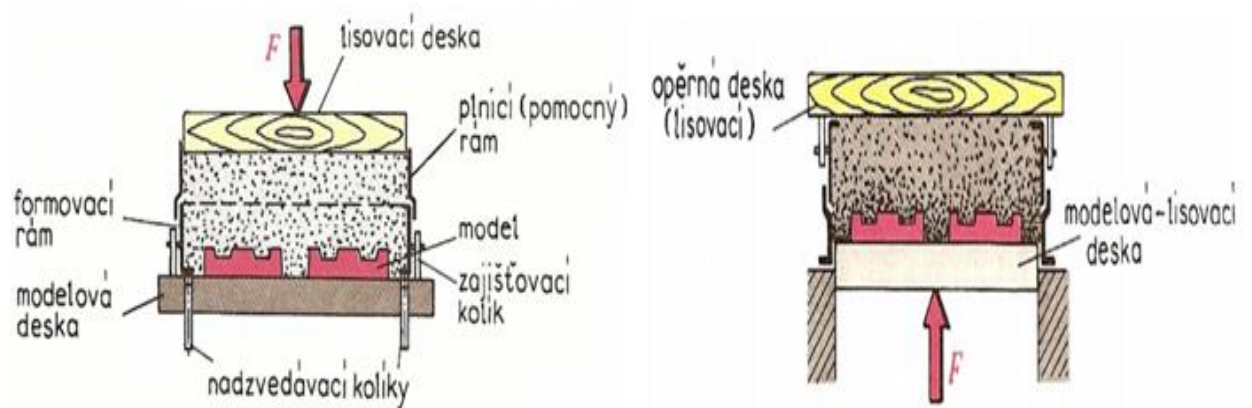
Základní částí strojního formování je modelová deska, na které jsou připevněny modely vtokových soustav a modely samotných odlitků. Modelová deska je zkonstruována tak, aby sloužila pro větší počet menších odlitků. Je opatřena zajišťovacími a nadzvedávacími kolíky, díky kterým vzniká přesné umístění formovacího rámu na modelovou desku a kolmý pohyb k dělicí rovině [2].

Strojní formování je rozděleno dle strojních zařízení (strojů) na:

- lisování
- střešání
- metání
- foukání
- lití
- kombinace těchto způsobů

- Stroje lisovací

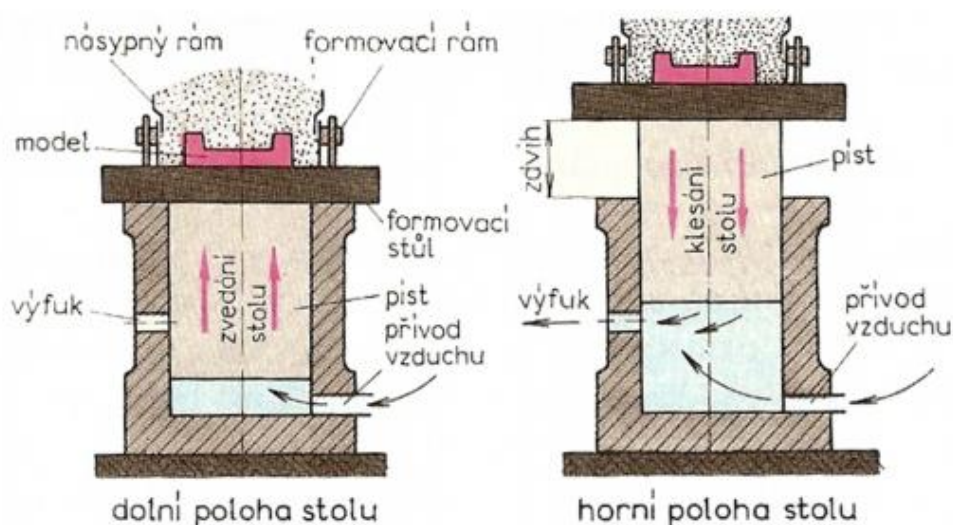
Slouží k přechování směsi za pomoci klidné síly. Vzhledem k tomu, že tlak není šířen formovací směsí všemi směry, se stupeň upěchování stává závislým na vzdálenosti od lisovacího elementu a jeho tvaru. Na obr. 3 jsou zobrazeny různé varianty lisování – shora, zdola a oboustranně [3].



obr.3 – Lisování shora, zdola [4]

- Stroje střešací

Princip spočívá ve využití kinetické energie, díky které dochází k upěchování dopadající směsi. Na obr. 4 je schéma střešacího stroje, kde se stůl za pomoci pneumatického zvedání dostává do výšky cca 8cm a volně dopadne na stojan formovacího stroje. Nevýhodou tohoto způsobu pěchování je to, že nedochází v povrchu ke zhuštění formovací směsi. Proto se tento problém řeší nahrazením střešání, kombinací střešání a dolisování seshora obr. 4 [3].

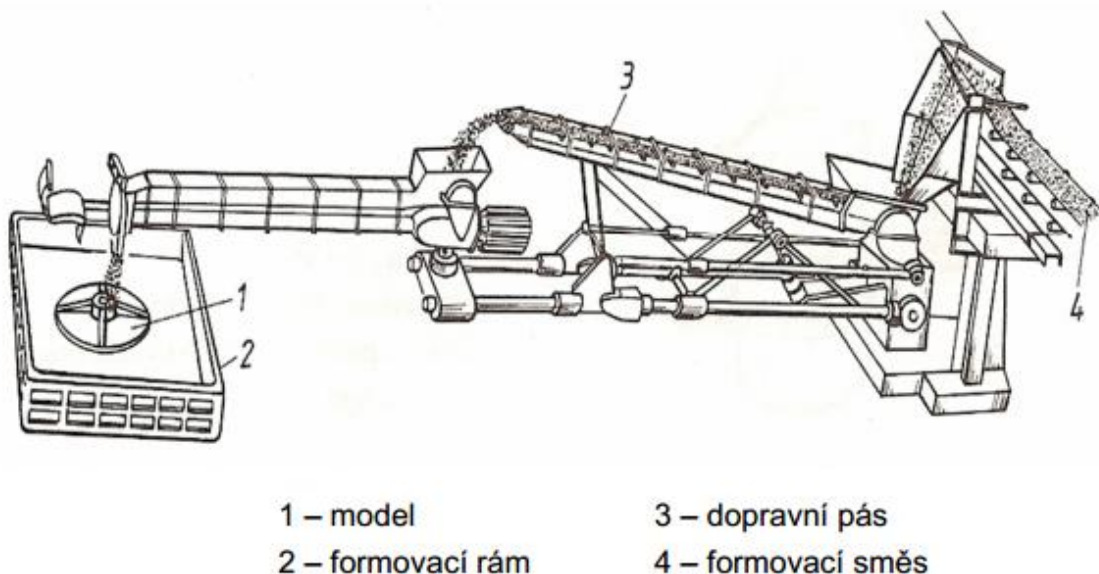


obr. 4 – Schéma střešacího stroje [4]

- Stroje metací – pískomety

Samotná formovací směs je plynule přiváděna do metací hlavy, odkud je pak vmetána do formy za velké rychlosti. Rychlost je regulována pak metacím kolem (obr. 5). V tomto případě vzniká kinetická energie, která při dopadu způsobí zhuštění směsi.

Výhodou se stává možnost použití modelového zařízení pro ruční formování, avšak nevýhoda je časté opotřebení rámu a modelů. [3]



Obr. 5 – Metací formovací stroj – pískomet [4]

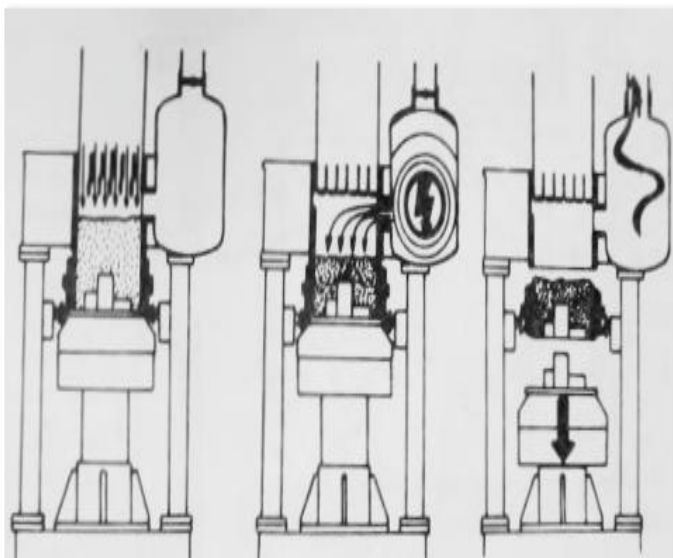
- Impulsivní formování – Impact process

Impulsivní formování je specifické ve využívání expanze plynů, při nichž dochází k tvorbě tlakové vlny. Existují dvě základní možnosti:

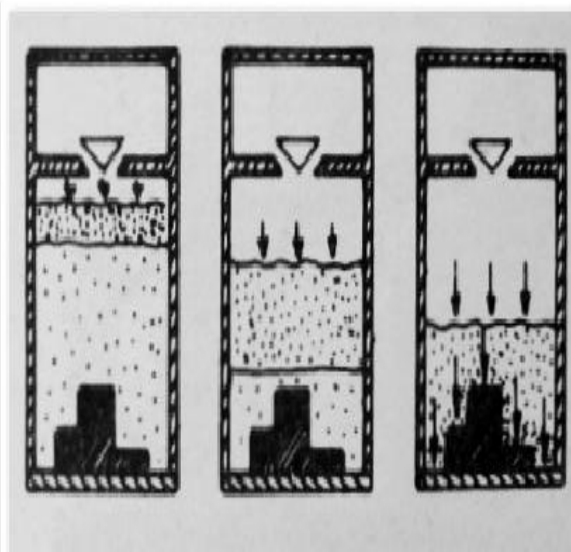
- GAS - IMPACT – použití směsi zápalného plynu a vzduchu – tlak zplodin
- AIR – IMPACT- použití prudce expandujícího vzduchu předem stlačeného v tlakové nádobě.

Obě dvě metody pracují na stejném principu, který spočívá ve zhuštění formovací směsi na modelové desce pomocí tlaku plynu. K zhutňování dochází za přetlaku vzduchu, který se uvolní pomocí membránového a klapkového ventilu. Expandující vzduch způsobí spěchování formovací směsi a následné zhutňování po vrstvách.

Schematické znázornění obou metod je zobrazeno na obr.6a,b). [5]



Obr. 6 a) GAS – Impact [3]



obr.6b) AIR-Impact [3]

2 FORMOVACÍ SMĚSI

Formovací směs obvykle tvoří:

- ostřivo (křemenné písky, zirkonové písky, olivín)
- pojivo – hlavní složka formovacích směsí
- voda (přísady)

V tab. 1 je zobrazeno rozdělení formovacích směsí do čtyř generací

Tab. 1 – Rozdělení formovacích směsí [5]

Název technologie	Charakteristika technologického postupu	Základní složení formovacích směsí
Metody I.generace	Pevnost získají formy či jádra - pěstováním směsi (ručně, strojně - střešání, lisování, metání). Ke zvýšení pevnosti někdy sušení či přisoušení.	Ostřivo Bentonit Jílové pojivo illitický jíl kaolín Voda
Metody II.generace	<u>Chemizace</u> výroby forem a jader. Pevnosti forem a jader se dosáhne ž chemickou reakcí způsobující ztvdnutí pojiva.	Ostřivo Pojivo na bázi chem. látky tvrdnoucí na základě chemických reakcí
Metody III.generace	<u>Fyzikální</u> metody výroby forem a jader. Pěstování je zpravidla nahrazováno vibrací ostřiva. Zrna ostřiva jsou pojena účinkem fyzikálních vazeb (mag. Pole, vakuum, bod mrazu)	Ostřivo v suchém stavu. Pojivo je pouze někdy voda
Metody IV.generace	<u>Biologizace</u> výroby forem a jader. Metody jsou dosud ve stádiu základního výzkumu.	Ostřivo Pojivo- živé organismy (baktérie)

2.1 Bentonit

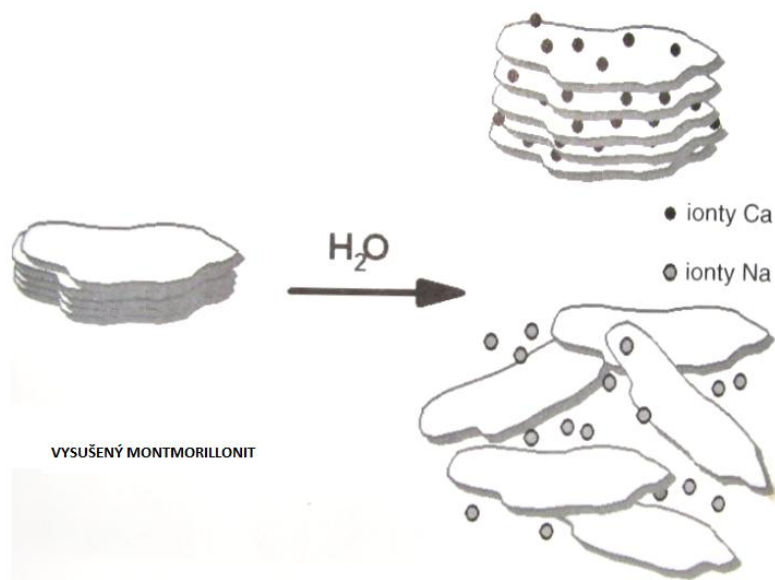
Bentonitové formovací směsi jsou nejpoužívanější technologií pro výrobu forem. Bentonit jakožto jíla je tvořen minerálem montmorillonitem. Důležitou vlastností je schopnost vázat na svůj povrch vodu. Struktura je tvořena krystalky, které jsou k sobě ve vysušeném stavu přitahovány a tvoří na sebe vkládané vrstvy obr 18. Pro docílení bobtnání směsi je zapotřebí přidání vody. Ta způsobí oddálení molekul od sebe. Tímto principem se umožní odlévání na syrovo do nevysušených forem.

Složení jednotné formovací směsi

Základní složky:

- Ostřivo – obvykle se používá křemenný písek
- Pojivo – bentonit
- Přísady – lesklý uhlík, škrob nebo grafit
- Voda

Při dokonalé jakosti formovací směsi je důležité dodržování optimální vlhkosti a požadované spěchovatelnosti. [3][5][11]



Obr. 8 – Přeměna struktury bentonitu [11]

2.2 Vodní sklo

Vodní sklo se řadí do anorganických pojiv. Využívá se ve formě koloidního roztoku křemičitanu sodného. Jeho prvotní využití jako pojivo nastalo u metody tzv. CO₂-Process (Čs.patent – dr. Lev Petržela).

Vodní sklo je hlavní součástí samotvrdnoucích směsí, které jsou rozděleny do skupin v tabulce tab. 2. Směsi s vodním sklem jsou výhodnější oproti ostatním směsím.

Výhodou je snížení opotřebení a poškození modelů, a úspora materiálu. [3][5].

Tab. 2 – Vývoj směsí s vodním sklem [5]

SMĚSI S VODNÍM SKLEM			
SMĚSI S OVLÁDANÝM ZTUŽOVÁNÍM		SMĚSI BEZ OVLÁDANÉHO ZTUŽOVÁNÍ - SAMOTVRDNOUCÍ	
SMĚSI VYTVRZOVANÉ VZDUCHEM	SMĚSI VYTVRZOVANÉ (CO - PROCESS)	TVRDNOUTÍ S EXO-REAKCÍ	TVRDNOUTÍ BEZ CITELNÉ EXO-REAKCE
teplým vzduchem studeným vzduchem	polovazné vazné	směsi vytvrzované práškovými kovy	SYPKÉ
	přetvrzené	směsi vytvrzované Joulovým teplem	vazné směsi s bentonitem
	směsi s přísadami pro zlepšení rozpadavosti	N- metoda	vazné směsi s bentonitem vytvrzované
	směsi s nekřemennými ostřivy		sypké nebo vazné
			ZPĚNĚNÉ (ZTEKUCENÉ)
			vytvrzované kapalnými tvrdidly

Vlastnosti směsí s vodním sklem:

- Použití všech druhů ostřiv – žádné kladení nároků jako u organických pojiv
- Zlepšení produktivity práce, pracnosti ve slévárnách vč. čistoty práce
- Snížení opotřebení a poškození modelů
- Nevýhodou vodního skla je velmi zhoršená regenerace směsi a špatná rozpadavost

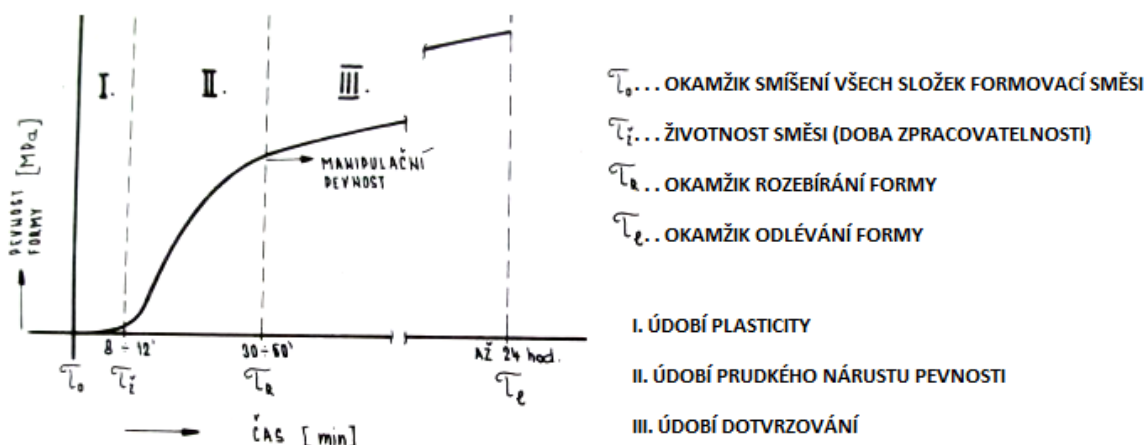
V současné době je stále velkým trendem vývoj nových modifikovaných vodních skel se zlepšenými vlastnostmi.

A. Vazné samovolné tvrdnoucí směsi s vodním sklem:

- Okamžité rozebrání modelového zařízení a forem po zaformování
- Dosažení mechanických hodnot formy po vytvrzení

B. Nevazné samovolné tvrdnoucí směsi s vodním sklem:

- Modelové zařízení je odstraněno až v době dosažení manipulační pevnosti formovací směsi - obr 19.
- Tekutost směsi je výhodou pro snadnější vyplňování detailů forem



Obr. 9 – Průběh nárůstu pevnosti forem samotvrdnoucí směsi [5]

U těchto směsí s vodním sklem se používají následující složky:

- Ostřivo: všechny ostřiva s obsahem jílů menším než 3%
- Pojivo: vodní sklo – modul 3,3 - 3,5
- Tužidlo: ferochromová struska
- Zpěňovadlo: Duboso, Exoton

2.3 Pojivové soustavy s užitím pryskyřic

Umělé pryskyřice, jsou moderními slévárenskými organickými pojivy. Vytvrzují se buď krátkým vytvrzením za tepla při teplotě asi 180 až 200°C (takzvaná metoda horkého jaderníku – „Hot Box“) nebo chemicky za studena (metoda studeného jaderníku – „Cold Box“). Dávají vysoké pevnosti po sušení nebo vytvrzení a mají velmi dobrou rozpadavost po odlití.

Nejčastěji se používá pryskyřic fenolformaldehydových, furanových a močovino - formaldehydových .

Jejich nevýhodou jsou omezení z hlediska ochrany životního prostředí. A to proto, že při vytvrzování a tepelnému zničení po odlití vznikají zdraví škodící zplodiny.

Rozdělení pryskyřic:

- Fenolické – rozdělení využití těchto pryskyřic je zobrazeno v tab. 3
- Furanové
- Močovinové
- Alkydové
- Polyuretanové
- Epoxidové
- Akrylátová

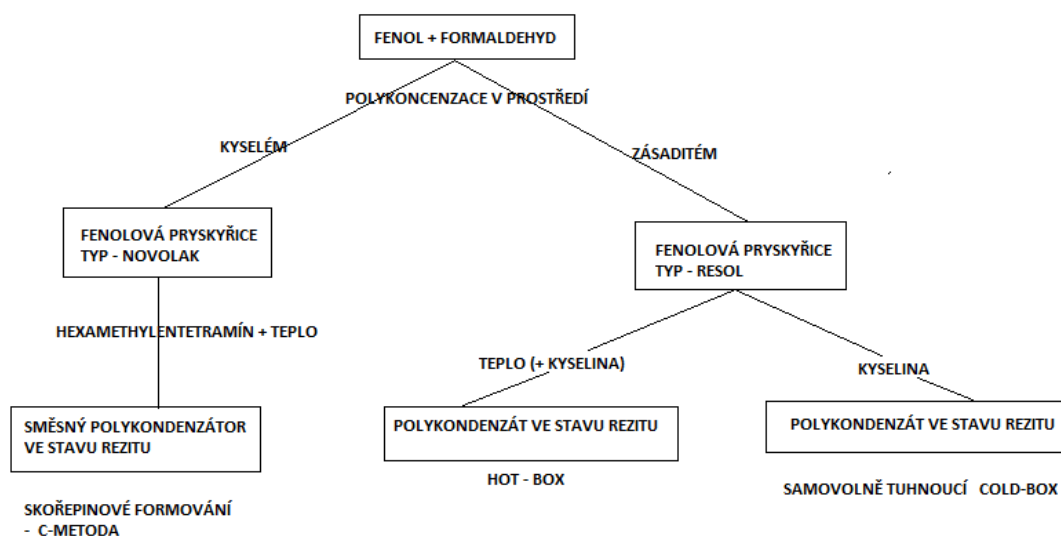
2.3.1 Fenolitické pryskyřice

V současnosti jsou nejvíce využívány pryskyřice fenolitické tzv. novolakového typu. Tyto pryskyřice za pomoci použití katalyzátoru jsou teplem vytavitelné i vytvrditelné. Slouží k přípravě obalených směsí a tvoří základ u Croningovy metody. Sypká obalená směs je dobře foukatelná do tvarově složitého jaderníku, která se poté vytvrdí za tepla 240 - 280°C.

Fenolitická pryskyřice typu resol se získává pomocí probíhající polykondenzace při odlišném poměru kondenzátorů v zásaditém prostředí.

Tento typ pryskyřice je nejvíce používaný u metody Hot-box spolu s křemenným pískem a malým množstvím kyseliny. Nevýhodou u těchto pryskyřic je určitý stupeň znečištění životního prostředí.[3][6]

Tab. 3 – Rozdělení pryskyřic [3]



2.3.2 Furanové pryskyřice

Furanová pryskyřice je složena z fenol-formaldehyd-močovinové pryskyřice rozpuštěné v čistém furfurylalkoholu. Jako tvrdidlo je zpravidla roztok arylsulfonové kyseliny. Tato technologie s využitím furanových směsí je vhodná pro výrobu forem masivních odlitků. Výhodou je regenerace směsi.



Obr. 10. – Model vyrobený za pomoci umělých pryskyřic

2.3.3 Močovino- formaldehydové pryskyřice

Vznikají za reakce močoviny a formaldehydu. Vlastnosti pryskyřice závisí na vlivu pH-soustavy a doby reakce. Celý proces probíhá ve třech stádiích (1,2,3), kde v bodech 2,3 probíhají reakce za působení ohřevu nebo kyselých kondenzátorů:

1. Stádium:

- Základem jsou hydrofilní pryskyřičné produkty, které přechází do stádia 2 v okamžiku, kdy se samovolně odvodní.

2. Stádium:

- Po odvodnění a částečně pod vlivem kyselin, je konzistence pryskyřice želatinová. V tomto stavu se nastává špatná rozpustnost ve vodě a vysoká viskozita.

3. Stádium:

- Tento konečná reakce vzniká při tepelném zpracování a za vlivu kyselých látek. Vznikají zde tvrdé, nerozpustné a netavitelné sloučeniny.

Práce s močovino – formaldehydovými pryskyřicemi je dnes velmi omezena. Jako slévárenské pojiva mají několik nevýhod. Jedná se o znečištění ovzduší pracovního prostředí, které vzniká za vytvrzování pryskyřic. Z chemického hlediska při termodestrukci vznikají hlavně u masivnějších odlitků vady – bodlinky, které jsou příčinou uvolnění velkého množství atomárního dusíku.

Tyto pryskyřice jsou často využívány u metody Hot-Box, jakožto organické pojivo. Na obr. 11 je zobrazena forma a odlitek vyrobený právě touto metodou – použití bezrámových forem. [14]



obr. 11- Odlitek a forma metodou Hot-Box

3 METODY BEZRÁMOVÉHO FORMOVÁNÍ

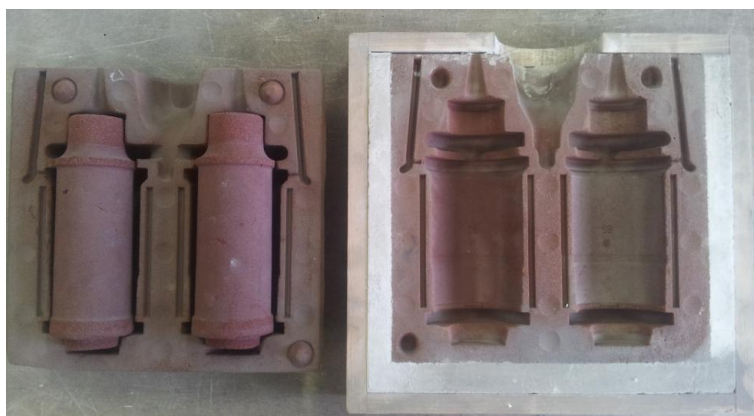
Tyto metody se řadí do tzv. progresivních technologií, jsou určeny pro netradiční metody lití. Jejich vývoj vzniká za účelem snížení nákladů na výrobu složitých součástí, co nejmenší přídavky na obrábění, hladký povrch a minimální vnitřní vady [8].

3.1 Výroba skořepinových forem - metoda Croningova

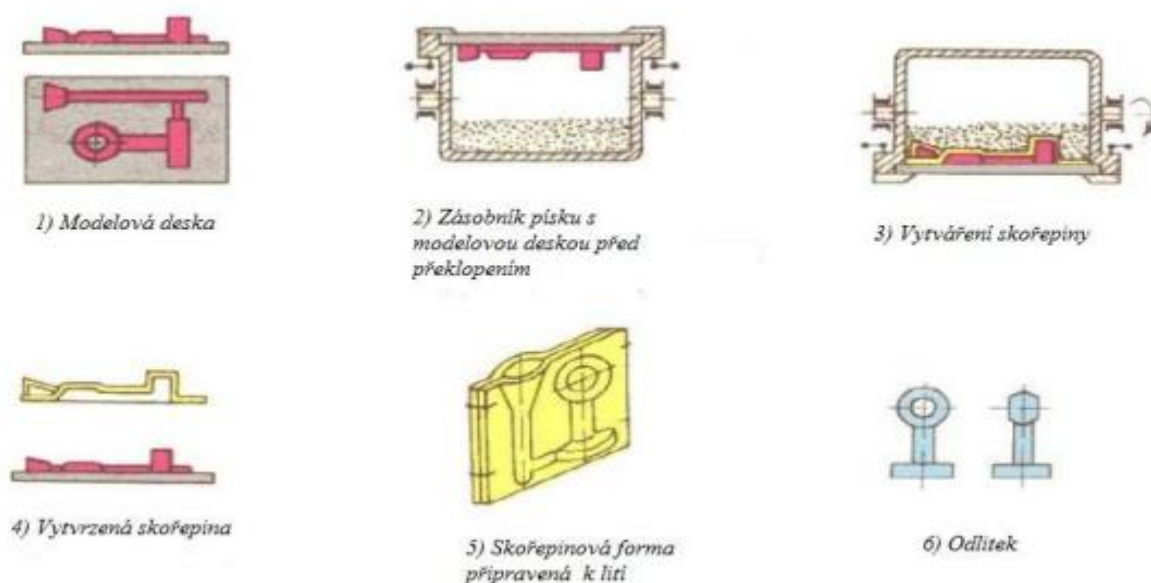
Metoda byla objevena v roce 1944 německým výzkumníkem Johannesem Croningem (v literatuře uvedena někdy jako metoda – C). Stala se prvotní metodou, u které se využívá chemie ve výrobě forem a jader. Výroba forem jako takových nespadá do formování za pomoci formovacích rámců.

Principem metody (obr.13) je nanesení směsi ostřiva a pryskyřice (termoplastická fenolformaldehydová pryskyřice) na zahřátou modelovou desku o teplotě 240 – 280 °C. Dle požadované tloušťky skořepiny se nechá směs cca 8-12s natavit. Po uplynutí určené doby se modelová deska převrátí a odstraní se zbytek nenatavené směsi. Vytvořená skořepina se následně vytvrdí v peci při teplotě 300 - 400°C v čase 30 - 180s.

Po této operaci se skořepina opatrně vyjme a stejným způsobem se provede výroba druhé poloviny formy. V konečném kroku se obě poloviny sestaví (slepí) dohromady, popřípadě se vloží jádro. Před samotným odlitím se musí forma zasypat do písku, jelikož není samonosná.[3][8]



obr. 12 – Ukázka formy metodou - C



obr. 12 – Princip metody - C [6]

3.2 Metoda Hot – box

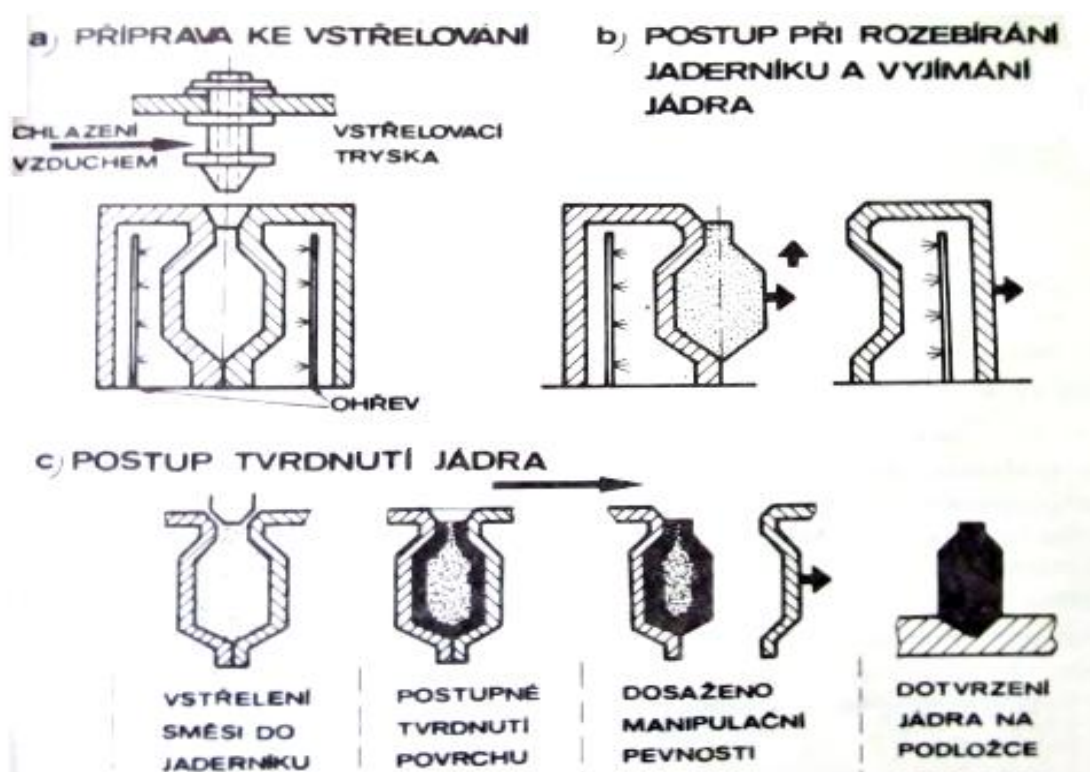
Princip spočívá ve výrobě přesných jader v horkém kovovém jaderníku. Směs se vstřeluje do horkého jaderníku, který je zahřátý na teplotu 180 - 300°C a následně se teplem vytvrdí pojivový systém. Když je povrchová vrstva dostatečně dotvrzená a udrží požadovaný tvar jádra, samotné jádro se vyjme z jaderníku a poté vytvrdí celý jeho průřez mimo jaderník.

Kromě výroby jader je možnost touto metodou vyrábět i formy, které mohou být pro skořepinové nebo formy určeny pro stomečkové lití drobných odlitků. U výroby forem je důležitá tloušťka formy, která je omezena způsobem vytvrzování do 25mm. Samotné odlévání do formy vyrobené metodou HB, nemusí probíhat v rámu – dříve používalo např. Zetor Brno.



Obr. 14 – forma (metoda HB)

Hlavním rozdílem mezi touto metodou a metodou Croning je, že u metody Hot-box je zapotřebí výroby plných jader. Je nutné vysokého upěchování a oboustranného ohřevu. Kvalita skořepin vyrobených metodou Hot-box je poměrně nižší, než u metody-C. Dochází k rychlejší rozpadavosti po odlití a nevýhodou je, že se musí tloušťka stěn zvýšit o 30-100%. [3],[6],[8]



obr. 15- Princip metody Hot-Box [3]

3.3 Přehled výhod a nevýhod metod Croning, Hot - box

Tab. 4 – Souhrnný přehled výhod a nevýhod metod [3]

METODA CRONING		METODA HOT - BOX	
VÝHODY	NEVÝHODY	VÝHODY	NEVÝHODY
<ul style="list-style-type: none"> - dobrá přesnost odlitků - minimální přídavky na obrábění - nízká povrchová drsnost odlitků - možná kombinace skoř. jádro + klas. forma 	<ul style="list-style-type: none"> - omezení hmotnosti (závisí na pevnosti skořepiny) - vysoké náklady na pojiva, model. zařízení - prašnost, plyny apod. 	<ul style="list-style-type: none"> - vysoká pevnost jader (objemové vytvrzování) - práce s nižšími teplotami (200 - 250°C) - vysoká životnost směsi (užití méně katalyzátoru) - zkrácení výrobního cyklu 	<ul style="list-style-type: none"> - vznik "hluchých míst" ¹⁾ - rozbor proudění vzduchu

Pozn:

- ¹⁾ „Hluché místa“ vznikají za prudkého poklesu teploty vzduchu při průchodu jádrem. Jedná se o místa kde, nedochází k vytvrzení nebo spěchování směsi.

3.4 Výroba forem na vytavitelný model – „Lost wax“

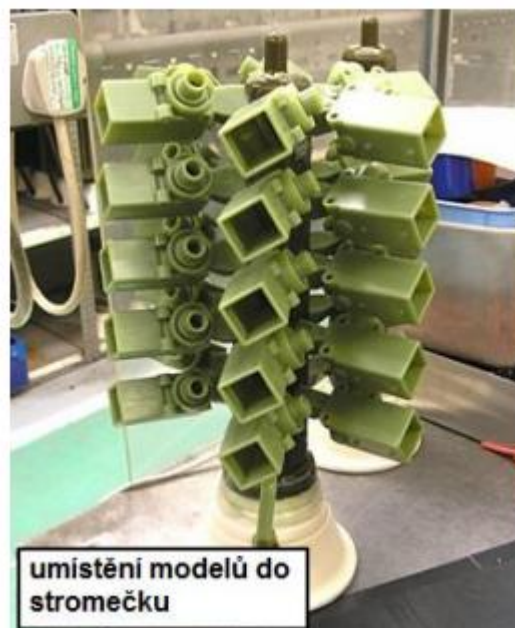
Výroba forem pomocí vytavitelného modelu je jednou z nejstarších metod slévárenství (4. tisíciletí před n. l.). Uplatňuje se v přesném lití uměleckých odlitků, avšak v současnosti je nejpoužívanější při odlévání složitých konstrukčních součástí, které vyžadují rozměrovou přesnost, vnitřní čistotu a vyšší funkční parametry.[8]

Postup vytvoření keramické formy se skládá z několika operací, které jsou popsány na obr. 17.

Charakteristické pro tento proces je zhotovení matečné formy, která je negativem tvaru voskového modelu. Do formy je vstřikován speciální vosk (měkký-světlý; tvrdý – tmavý). Ten ve formě ztuhne a vyjme se. Vzniká voskový model. Podle velikosti a náročnosti modelu se rozhodne, zdali je možné sestavení do stromečku (pájení modelů na voskový kůl) nebo jednotně.

Další fáze spočívá v namáčení stromečku do speciální keramické břechky s následným posypáním žáruvzdorného materiálu o vhodné zrnitosti. Obalování se opakuje několikrát, dokud se nezíská požadovaná tloušťka vrstvy od cca 3mm (nesamonosné) do 7mm (samonosné). Při každém namočení a obalení následuje sušení skořepiny, které trvá 2 – 4 hod.

Po aplikaci posledního obalu a dokonalém vysušení skořepiny je nutné odstranit voskový model.

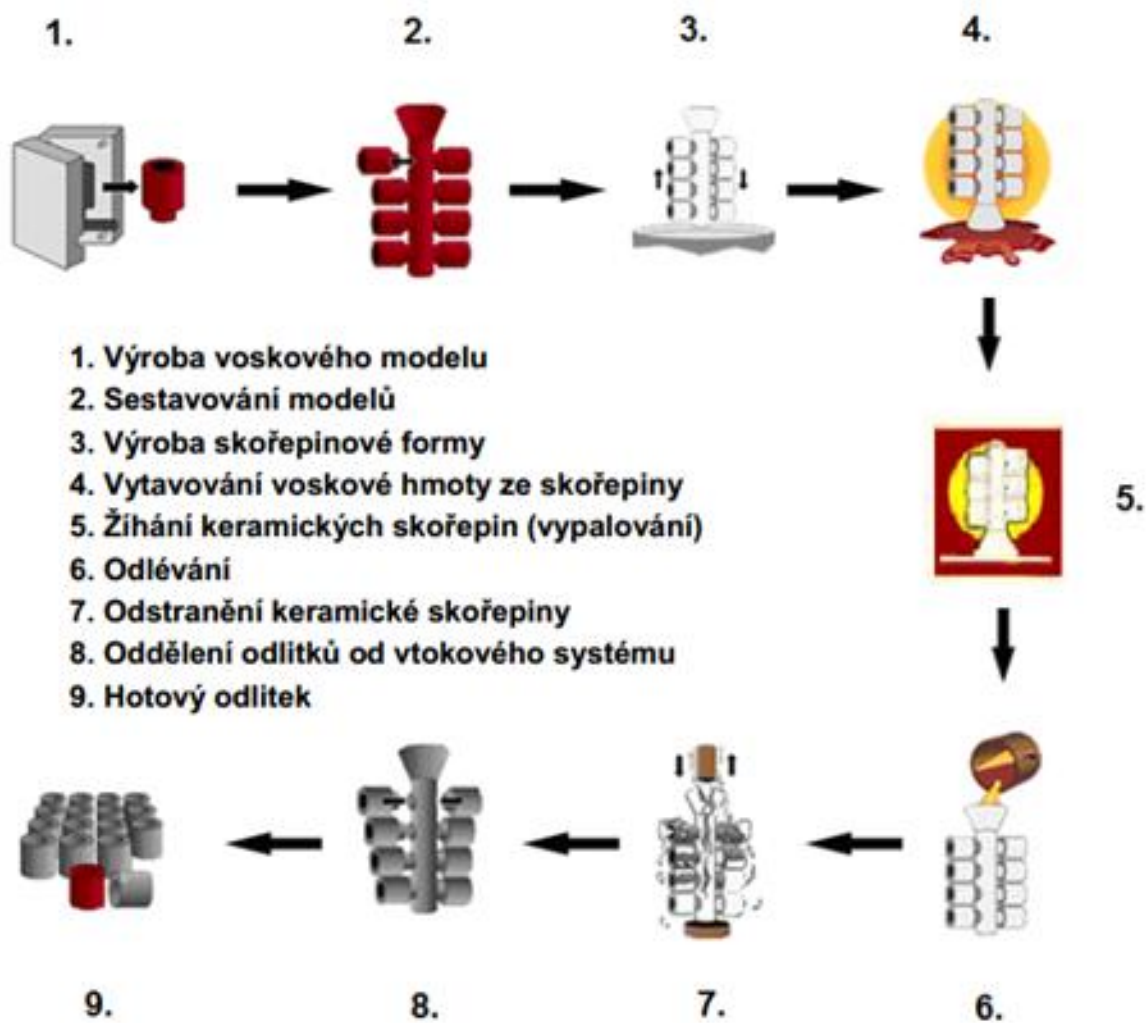


Obr. 10 – Sestavení modelů do stromečku [7]

V tomto kroku je možné zjistit existující vady (praskliny) na formě, a díky schopnosti tmavého vosku detekovat tyto chyby. K zabránění popraskání forem je nutné voskovou směs ve skořepině vystavit tepelnému šoku, což znamená co nejvíc zvýšit teplotu prostředí a zároveň i teplotu vosku, za co nejkratší čas. Tím se vosk v dutině uvolní a vyteče ven.

Keramické formy bez vosku je nutné před odléváním vypálit (žítat). Ve výsledku jsou formy schopné odolat při vysokých teplotách a mohou se použít pro velmi širokou oblast slitin. Formy jsou odlévány jako samonosné, nebo se také zasypávají. Klasický formovací rám se k výrobě ani lití nepoužívá – lze tedy řadit tuto výrobu mezi bezrámové metody.

Po odlití se nechá odlitek ztuhnout a poté se odstraní keramická skořepina z „kovového stromečku“. Takto očištěné odlitky se mechanicky odstraní od vtokové soustavy za pomoci broušení a leštění. V určitých případech dokončovací operace obsahují i tepelné zpracování nebo obrábění. [3][5][7].



obr. 17 - Princip výroby forem na vytavitelný model [6]

4 AUTOMATICKÉ BEZRÁMOVÉ FORMOVACÍ LINKY

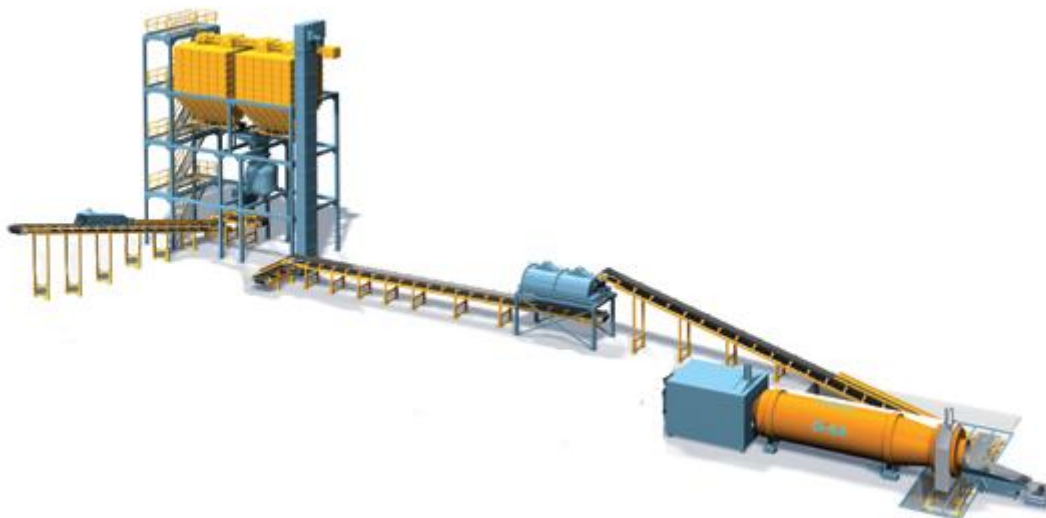
Automatické bezrámové formovací linky jsou zařízení, které byly vyvinuty pro více produktivní výrobu forem. Hlavní konstrukční myšlenkou je odstranění zpětné dopravy rámů od uvolňování k formovacímu stroji. Předchozí strojní zařízení (upravené formovací stroje) byly na principu výroby obou polovin forem v rámech se založením jader, kde po složení forem se rámy ve stroji z formy stáhly. Avšak tyto formovací stroje se příliš neprosadily a nebyly dále vyráběny.

Bezrámové formovací linky se dostaly do popředí až po využívání technologie lisování vyšším měrným tlakem. Značnou nevýhodou bezrámového formování se stala nízká pevnost směsi, která se díky lisování do značné míry odstranila.

V roce 1962 bylo uvedeno poprvé na trh formovací zařízení, o které se zasloužila dánská firma DISA Industries. V současnosti je ve světě využíváno přes 1 300 těchto linek. Tato technika zaručuje slévárnám rychlost, přesnost, reprodukovatelnost a výkonnost oproti konvenčním rámovým střešacím a lisovacím linkám [10][11][12][13]

Automatické bezrámové formovací linky se člení dle dělicí roviny na:

- Vertikální bezrámové formovací linky (Disamatic)
- Horizontální bezrámové formovací linky (Disa Forma)



obr. 18 – Bezrámová formovací linka DISAMATIC [9]

4.2 Bezrámové linky se svislou dělicí rovinou

U těchto výrobních linek je spotřeba formovací směsi velmi značná. Je to z důvodu vysoké výkonnosti zařízení. „Disamatic“ pracuje na principu zhutňování formovací směsi pomocí vstřelování a lisování. Postup výroby je naznačen na obr. 19.



obr. 19 – Princip výroby svisle dělených bezrámových forem [15]

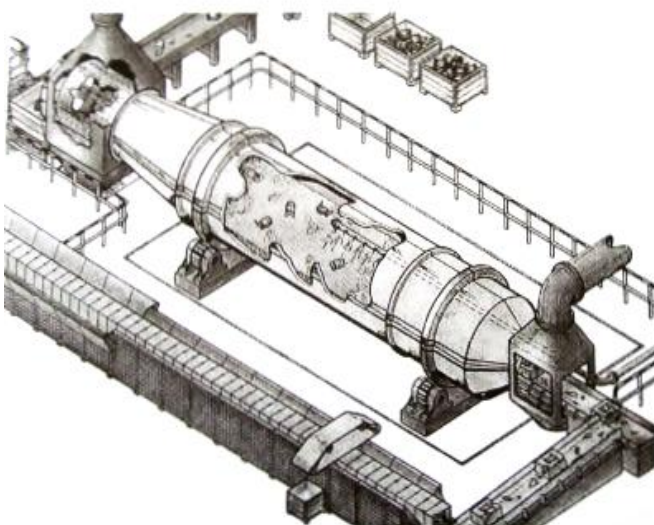
První fází je objemové dávkování směsi do vstřelovací komory, která se uzavře plochým šoupátkem. Do formovací komory je vstřelena směs za pomoci stlačeného vzduchu. Pro nežádoucí upěchování směsi prudkým nárazem, se směs vstřeluje pod nižším tlakem. Po odvzdušnění vstřelovací komory se směs lisuje modelovými deskami proti sobě z obou stran. Je důležité, aby lisování dosáhlo požadovaného tlaku. Požadovaný tlak (do 2MPa) mění tvrdost formy. Při tomto procesu současně pracují i vibrátory.

Odklopná lisovací deska se sklopí do vodorovné polohy a zároveň otevře formovací komoru. Během vyjímání modelu jsou aktivovány vibrátory, které napomáhají k očištění povrchu formy. Výhodou tohoto principu je vyloučení nebezpečí utržení formy u komplikovaných modelů a to proto, že modelová deska musí být přesně vedena.

Další fází je vysunutí nové formy z komory za pomoci lisovací desky. Rychlost přesunu musí být redukována. Jakmile je dosaženo požadovaného tlaku při skládání, dochází k synchronizovanému přesunutí forem dopředu krokovým dopravníkem. Potom se lisovací deska pomalu vrátí do výchozí pozice ve formovací komoře. Zároveň ve stejném čase jsou odlity dříve zhotovené formy.

Pro uvolnění forem se používají uvolňovací bubny, jejichž podílem výroby je separace směsi od odlitku. Směs se tak stává vratnou a je znovu používána.

Po ukončení těchto fází se obě desky znovu vycentrují vůči vstřelovacímu otvoru a jsou nastříkané dělicím prostředkem.



Obr. 20 – Chladicí buben (Disa) [10]

Síla formy je seřízená stupňovitě, tak aby byl dosažen optimální poměr „forma : kov“ .

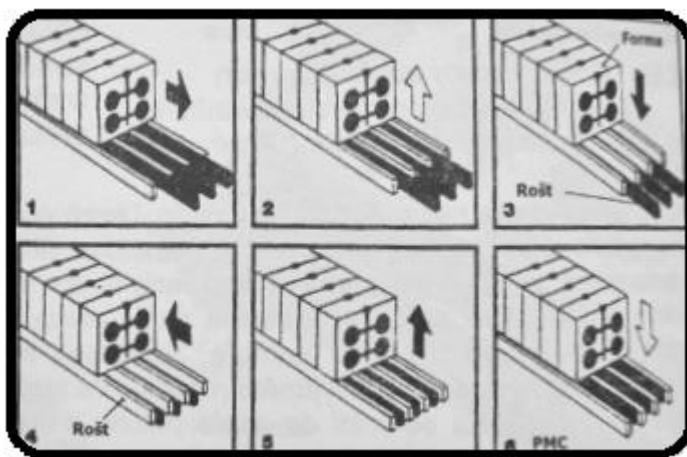
Zakládání jader je možné docílit dvěma způsoby, a to ručním vkládáním a automatickým.

Ruční vkládání jader probíhá založením jádra do dutiny v desce automatického zakladače. Automatické zakládání jader a výměna modelových desek je umožněno kombinovaným zakladačem.

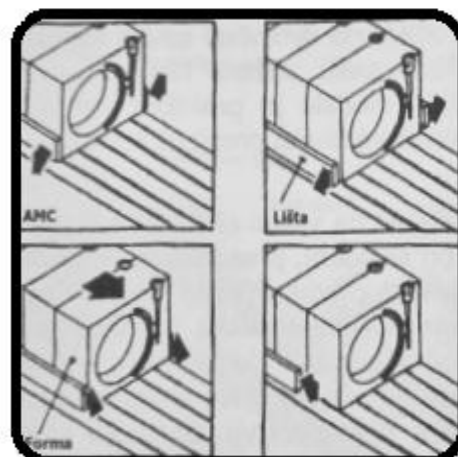
Součástí sestavy jsou navazující dopravníky – krokový a pásový. Dopravníky v tomto případě mají důležitou funkci. Slouží k postupnému posunu forem v oblasti odlévání, tak aby nedošlo k deformaci např. otěrem při posunu. Výběr krokových dopravníků závisí na složitosti odlévání:

- Speciální krokový dopravník (AMC) – Linky na menší a lehčí formy
- Krokové dopravníky (PMC) – Linky pro větší a složitější formy

Celková automatizace je podpořena řídicími systémy a CIM (Computer Integrated Manufacturing). Důvodem jsou okamžité informace o výrobním procesu a celková kontrola formovací linky (licí jednotka, dopravník atd.) [10][11][12]



obr. 21 – Krokový dopravník (AMC) [10]



obr. 22 – Krokový dopravník (PMC) [10]

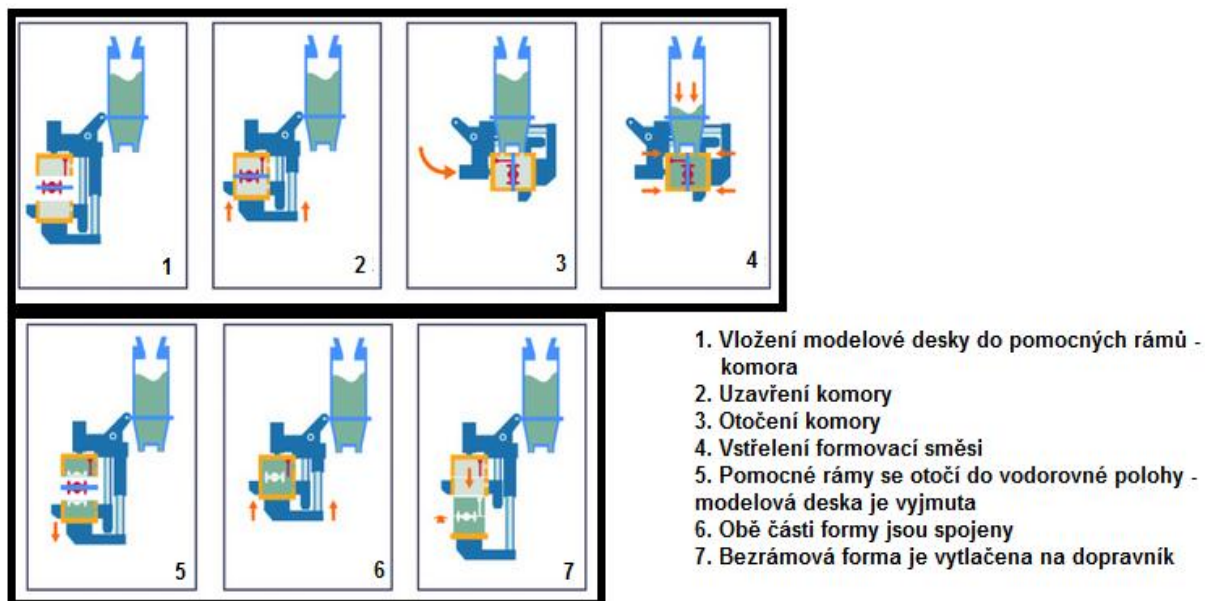
4.3 Bezrámové formovací linky s vodorovnou dělicí rovinou (BFL)

Bezrámové formovací linky s vodorovnou dělicí rovinou jsou zkonstruovány pro odlitky, u kterých nelze odlévat do forem se svislou dělicí rovinou. Výhodou u těchto linek je, že se zde nenachází žádná manipulace s těžkými formovacími rámy. Formování je velmi rychlé a oproti linkám s vertikální dělicí rovinou se pracuje s menším množstvím formovací směsi.

Linky se skládají z formovací komory, která nahrazuje rámy. Jako u výroby forem se svislou dělicí rovinou se používají dvě oboustranné modelové desky. V tomto případě dochází k problému ve správném umístění původní modelové desky, aby nedošlo k přesazení odlitku. V zabránění přesazení se navlékají na složené formy pomocné rámy tzv. žakety a navíc jsou pojištěny proti vztlačení úkládáním úkladů. [10][11]

Formovací linky s vodorovnou dělicí rovinou se dále dělí podle metody formování na:

- Bezrámové formovací stroje vstřelovací a lisovací
- Bezrámové formovací stroje podtlakové a lisovací
- Bezrámové formovací stroje lisovací

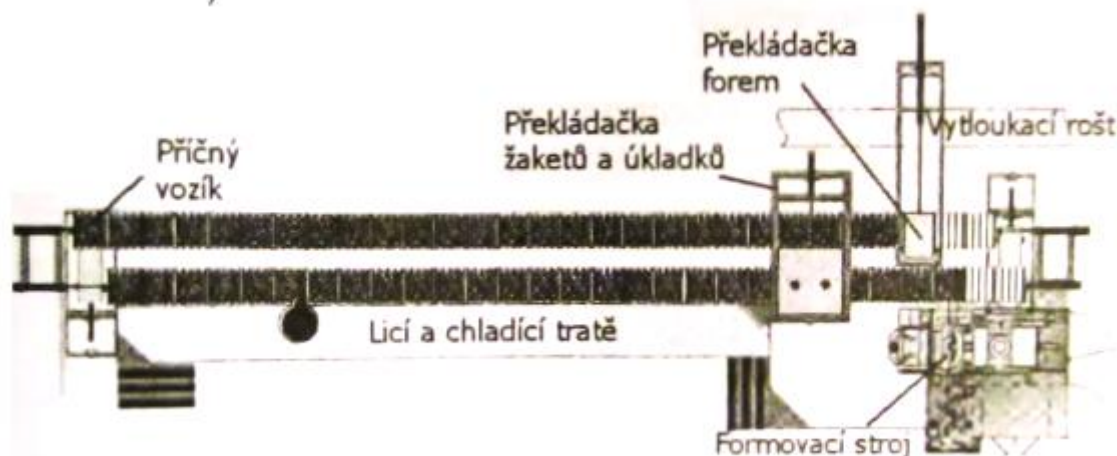


obr. 23 – Princip výroby horizontálně dělených bezrámových forem [15]

4.3.1 Bezrámové formovací stroje vstřelovací a lisovací

Formovací zařízení pracuje s oboustrannými modelovými deskami. Na horní části je upevněn model pro vrchní polovinu, taktéž pro spodní polovinu. Pomocné rámy se přitlačí z obou stran na modelovou desku a současně se vstřelí pod tlakem formovací směs. V tomto případě se komora plní z boku modelu, což není moc výhodné. Mohou vznikat stíny (místa, ve kterých je směs nedostatečně spěchována). Proto se formy musí dolisovat ze stran proti svislé oboustranné modelové desce.

Vstřelovací hlavy slouží zároveň i jako lisovací desky. Je důležité při tomto procesu odvodu vzduchu v komoře. Poté se model oddělí od formy a vysune ze stroje. Spodní forma je nahrazena zhotovenou poloformou, ve které je už založeno jádro. Ve stroji dochází k složení poloformy a stáhnutí pomocných formovacích rámu. Takto hotová bezrámová forma je odsunuta na lící a chladicí trať. Po odlití jsou sejmuty žakety a úkladky a formy musí být dochlazovány. [11]

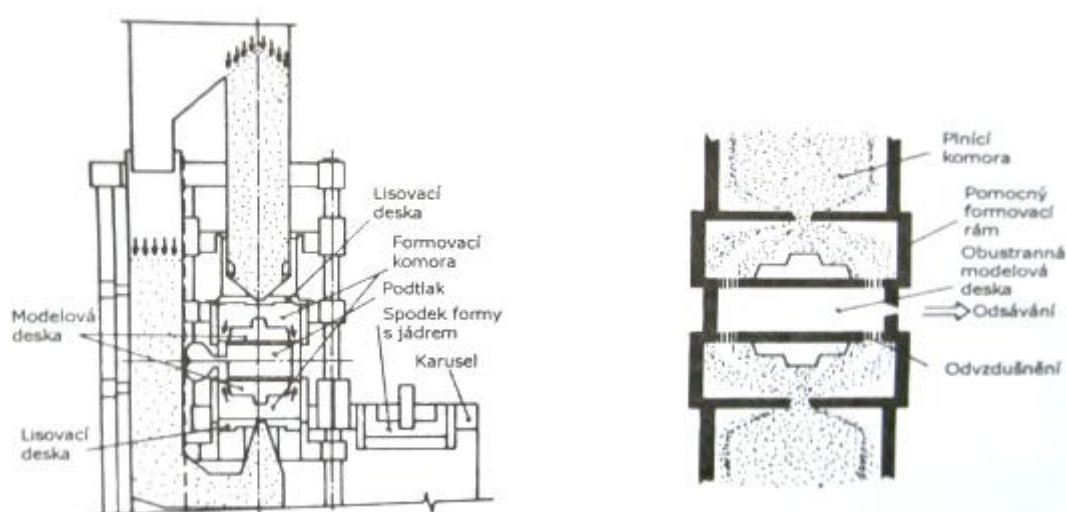


obr. 24 – Bezrámová formovací linka s vodorovnou dělicí hlavou [10]

4.3.1 Bezrámové formovací stroje podtlakové a lisovací

Jejich konstrukce je totožná jako u předešlých zařízení. Rozdílné je pouze plnění. Plnění formovací směsí do formovací komory je ve svislé poloze za podtlaku a následně jsou formy lisovány. Pro vyjmutí forem se v tomto případě využívá přetlak vzduchu.

Směs je nasátá do spodní a posléze i do horní komory pomocí vakua. Na rozdíl od vstřelování nedochází při nasávání k žádnému hluku ani k vibracím. Model je zalisován do forem. Pro jeho snadné vyjmutí, se přivede stlačený vzduch do dělicí roviny. Následný postup je totožný jako v předešlém případě. [10][11]



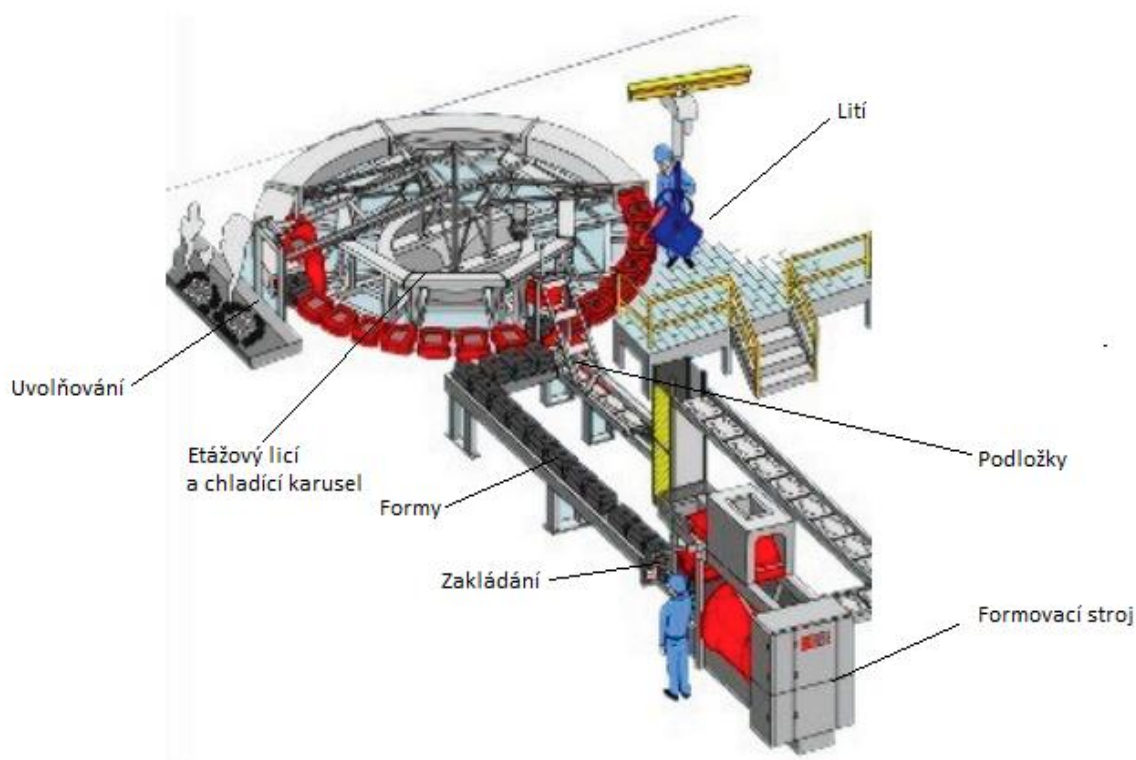
obr. 25 – Bezrámový formovací stroj podtlakový lisovací (Disa Forma) [10]

4.3.2 Bezrámové formovací stroje lisovací

Zhutňování formovací směsi je za pomoci lisování a vibrací. Zhutnění při lisování je horší, avšak modely nejsou tolik opotřebovány jako u vstřelování. Zařízení se používá pro série jednoduchých odlitků. Stroj je dvoupolohový.

V první poloze je směs dávkována za vibrace do spodního rámu. Poté je přiložena podložka a modelová deska s rámem se otočí. V této poloze jsou zakládána jádra.

Ve druhé poloze se z pojízdného dávkovače nadávkuje směs do horního rámu, kde jsou poloformy lisovány proti pojízdné lisovací desce. Celý formovací stroj je zobrazen na obr 26. [10][11]



obr. 26- Bezrámová formovací linka s lisovacím strojem [11]

5 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo obecně zhodnotit výrobu bezrámových slévárenských forem. V této práci jsou popsány nejvýznamnější metody progresivních technologií a výrobní postupy automatických formovacích bezrámových linek DISA.

V současné době jsou ve slévárenském průmyslu stále více prosazovány vyšší požadavky u odlitků. Jedná se například o zlepšení jakosti, kvality povrchu a funkčních parametrů.

U vybraných strojírenských součástí je nutné uplatňovat progresivních výrobních technologií, kam se řadí metoda vytavitelného modelu, metoda – C a Hot – Box. Všechny uvedené metody jsou na principu vytvrzování a natavování formovací směsi, kde poté dochází k výrobě skořepinové formy. V tomto případě nejsou použity formovací rámy. Výhodou nastává efektivnější úspora materiálu a celkové práce, oproti formování do rámu.

Pro výrobu bezrámových slévárenských forem jsou využívány základní formovací směsi I. a II. generace. Jedná se o bentonitové, samotuhnoucí směsi s přísadou vodního skla nebo umělých pryskyřic. Značnou nevýhodou použití umělých pryskyřic se stává znečištěné pracovní prostředí což způsobují hlavně výpary při tavení.

Pro zjednodušení sériové výroby, zhmotnila dánská firma DISA Industries myšlenku, která spočívá v co nejefektivnější výrobě a zároveň v maximálním snížení procenta zmetkovitosti odlitků. Proto uvedla na trh automatické bezrámové formovací linky, které jsou určeny pro různé typy složitostí odlitků. Na území ČR jsou linky DISAMATIC prozatím využívány jen v některých slévárnách.

Výhodou je odstranění formovacích rámu, a to z důvodů ušetření času, kdy nedochází k jejich manipulaci – zpětná doprava od uvolňování k formovacímu stroji.

Řadí se mezi velmi schopné formovací strojní zařízení, jehož koncepce se stále rozvíjí a zdokonaluje. Disamatic linky pracují na principu formování na syrovo. Tato technologie navyšuje ve slévárnách rychlost výroby, přesnost a max. reprodukovatelnost odlitků.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.

- [1]. Pedagogická fakulta - Univerzita J.E.Purkyně. [online]. 2014 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: http://pf.ujep.cz/~velimskyt/pravek/06d_bronzova/db08.jpg
- [2]. BERNÁŠEK, Vladimír a Jan HOREJŠ. *Technologie slévání*. 3., upr. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2006, 175 s. ISBN 80-704-3491-0.
- [3]. HORÁČEK, Milan a Jan HOREJŠ. *Slévárenská technologie I*. 2. vyd. Brno: VUT Brno, 1990, 166 s. ISBN 80-214-0217-2.
- [4]. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: http://www.outech-havirov.cz/skola/files/eu_penize_skolam/dum/slevarenstvi/vy_32_inovace_f04.pdf. Vyúkový materiál. Střední škola, Havířov-Šumbark. Vedoucí práce Mgr. Ladislav Blahuta.
- [5]. HORÁČEK, Milan. *Teorie slévání*. 2. vyd. Brno: VUT Brno, 1991, 132 s. ISBN 80-214-0293-8.
- [6]. DLOUHÁ, Monika. *SROVNÁNÍ EKOLOGICKÝCH A TECHNOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ RŮZNÝCH ZPŮSOBŮ VÝROBY SLÉVÁRENSKÝCH FOREM A JADER*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Petr Cupák Ph.D.
- [7]. SOUKUPOVÁ, Lucie. *TECHNOLOGIE VYTAVITELNÉHO MODELU V SOUČASNOSTI*, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce prof. Ing. MILAN HORÁČEK, CSc.
- [8]. MICHNA, Štefan, Jarmila TRPČEVSKÁ a Iva NOVÁ. *Strojírenská technologie*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2012, 337 s. ISBN 978-80-7414-501-8.
- [9]. *DISA shaping industry* [online]. 2014 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: http://www.disagroup.com/en/sites/disa/content/equipment/sand_preparation/sand_plant_tower.aspx

- [10]. CHRÁST, Jaroslav. *Slévárenská zařízení*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 256 s. ISBN 80-720-4456-7.
- [11]. *Slévárenství*. Brno: Svaz sléváren ČR, roč. 2007, 11-12. ISSN 0037-6825.
- [12]. *Slévárenství*. Brno: Svaz sléváren ČR, roč. 2002, 8-9. ISSN 0037-6825.
- [13]. *Foundry Trade Journal*. Redhill: DMG World Media Ltd., roč. 2008, 7-8. ISSN 0015-9042.
- [14]. JELÍNEK, Petr. *Teorie slévárenské formy: Slévárenské formovací směsi*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1970, 226 s.
- [15] IDCastings [online]. 2014 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://idcastings.com/capabilities.html>

